



TITLE:

林業機械作業における人間工学的研究：林道工事におけるサク岩機の騒音

AUTHOR(S):

沼田, 邦彦; 山本, 俊明; 佐々木, 功

CITATION:

沼田, 邦彦 ...[et al]. 林業機械作業における人間工学的研究：林道工事におけるサク岩機の騒音. 京都大学農学部演習林報告 1975, 47: 112-121

ISSUE DATE:

1975-12-13

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191595>

RIGHT:

林業機械作業における人間工学的研究

——林道工事におけるサク岩機の騒音——

沼田 邦彦・山本 俊明・佐々木 功

A Study on the Human-Machine Relationship in the Mechanized Forest Operations

——Noise of a Rock Borer in Forest Road Construction——

Kunihiko NUMATA, Toshiaki YAMAMOTO and Isao SASAKI

目 次

要 旨	112	IV 騒音と心拍数の関係	117
I はじめに	113	a) 自己相関と相互相関	
II 測定方法	114	b) 結果と考察	
III 林道工事現場の騒音	115	引用文献	120
a) 騒音源と空間的騒音レベルの関係		Résumé	120
b) サク岩機の騒音と許容基準の比較			

要 旨

1973年の調査結果から前報告¹⁾で林道工事の労働環境について種々の問題点を示唆したが、本報告はその中のサク岩機作業の騒音を取り上げ、工事現場の中で占めるサク岩機の騒音に焦点を置いて調査した。

工事現場の騒音はサク岩機による高周波領域に主要な周波数構成をもつ衝撃性の騒音とディーゼルエンジンで駆動されるブルドーザなどの低周波領域にかたよったものの2つのタイプがある。長時間連続して暴露しても人体に難聴のおこる心配のない80 dB(A)以下の騒音レベルになるにはサク岩機の騒音はディーゼルエンジンによる土工機械より一段と大きいいため、騒音源から26m強の見通し距離が必要であり、作業者の聴覚に与える影響範囲は非常に広い。

またサク岩機の騒音は騒音評価指数で $N=110$ に達するが、防音保護具の耳おおい（イヤーマフ）を着用することにより、 $N=85$ 以下となる。耳おおいをした時に比べて、耳おおいをしない時の心拍数は非常に高く、しかも心拍数の変動も非常に大きい。騒音源自体の騒音レベルについては耳おおいをしない時のほうが、した時より高い状態にあったが、心拍数に表われた結果は耳おおいをしなかった時のほうが圧倒的に高い。これらのことから作業員は耳おおいをしない時には生理的のみならず、心理的にも不安定な状態になったことを現わしている。

なおサク岩機の騒音効果は同時に振動の影響も含まれるため、今後作業員の直接受ける振動に差をつけて、騒音と同時にそれらの効果を調査することが必要である。

騒音と心拍数の相関について心拍数の自己相関は耳おおいをしないときに周期性が認められ、

また相互相関においても耳おおいをしないときに周期性が認められる。特に時間間隔をおかない時に顕著な負の相関があった。

騒音も臭覚などと同様に慣れの効果が生ずるのである。このような生体内部の反応と騒音などの外的条件を受けることによる心拍数などの生理的現象に表われる現象変化との関係を、ある時間間隔のもとで相関があるかどうかによって判断するには今後さらに調査研究を重ねていく必要がある。

I. はじめに

前号の“機械土工における労働環境の調査”¹⁾では林道工事作業の振動・騒音などの労働環境、労働生産性並びにオペレータの生理的現象の概略的なところを報告した。本報告では林道工事現場の騒音を取り上げ、特に騒音の激しいサク岩機作業の騒音について騒音の周波数構成とサク岩機作業の経時的変化並びにオペレータの経時的生理反応（心拍数）の関係を防音保護具（イヤーマフ）着用の有無との関係において比較検討した。

騒音の意味について少し説明する。^{2,3)}騒音は好ましくない音の総称で、非常に大きい音、好ましくない音、不快な音、思考や作業を妨害する音のことである。騒音の大きさと人間に及ぼす効果との間には感覚的な要素が含まれる。この感覚の量的測定はむずかしいので、騒音の大きさを表示する場合、一応可聴音のレベルをもとにしてこの大きさを測定できる騒音計で近似的に騒音レベルを測定するのである。

音の強さ（ I ）を対数尺度で表わすと、感覚にも対応して都合がよい。そこで音の大きさを比較する場合、疎密の圧力（ P ）の変化をもとにして計算すると $10 \log_{10} I_1/I_2 = 20 \log_{10} P_1/P_2$ (dB)（音の強さ I は $I = P^2/qC$; q は媒質（空気）の密度、 C は媒質中を伝播する音速）。通常の場合、耳に聞えるか聞えないかの限界の音圧は $0.0002 \mu\text{bar}$ であり、これを基準にして考えると音の大きさのレベルは $20 \log_{10} P/0.0002$ となる。

つぎに phon の表わす意味と騒音計の特性について述べる。図 1 の耳の等感度曲線の中で大きさのレベル (phon) の何本かのカーブからこの図は構成されている。いま 40 phon のカーブは 1000 Hz の周波数で物理的な 40 dB の純音が耳に感じる音を基準にして周波数を変えておこなったとき、1000 Hz の基準音と同じ大きさに耳に感じる種々の周波数の音圧レベルは 40 phon と記したカーブの上にあることを表わす。phon とは音の大きさのレベルのことである。

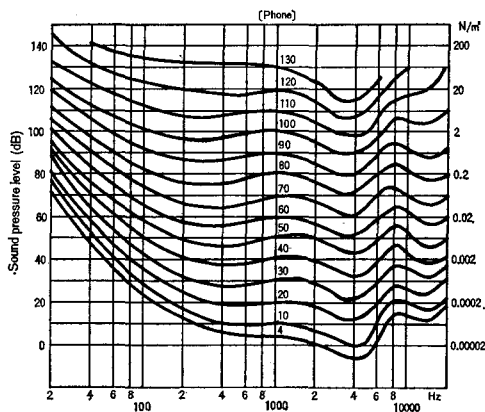


Fig. 1 Auditory equi loudness contours

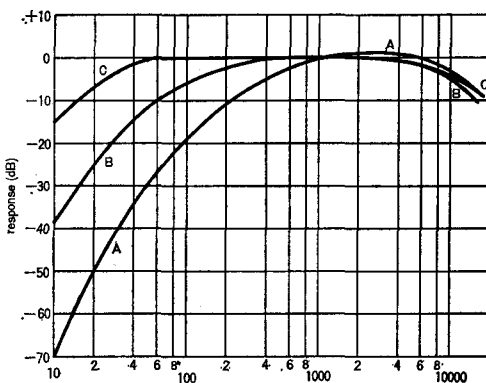


Fig. 2 Characteristic Curves corrected with auditory sensation as to sound level meters^{2,3)}

騒音計には一般にA, B, Cの表示したセレクトースイッチが備えられ、A, B, Cの聴感補正特性を選ぶことができるようになっている。図2は騒音計のA, B, Cの三つの聴感補正特性を示す。これら三つの聴感補正特性は耳の等感度曲線を勘案してIEC (International Electrotechnical Commission) において定められた騒音計特有の特性である。A特性の聴感補正曲線は図1の等感度曲線の約40 phonの等感度曲線に合せており、従来は低いレベルの測定に使用されてきた。しかし騒音が人間に及ぼす影響として音の大きさのみならず、やかましさを考慮に入れると大きいレベルの音に対してもA特性を使用する方が音響心理学的にもより現実的であると考えられるようになってきた。現在ではすべてのレベルの騒音に対してはA特性を使用する傾向になってきた。なお騒音の周波数スペクトルの分布によって異なるが、A特性で測定された値はC特性で測定された値より数ホンから10数ホン低い値を示す。B特性は70 phonの等感度曲線に合せたものである。C特性は85 phon以上の等感度曲線に対応しており、従来は大きいレベルの音の測定に用いられたが、今後は大きいレベルの音でも一般にA特性が使われるようになる。C特性の周波数レスポンスは平坦であり、周波数分析をとまなう測定にはC特性が用いられる。

つぎに騒音評価法について述べる。NC曲線とはNoise Criteria Curveのことで、ある場所の騒音の許容値をNC=40にきめた場合、その場所の各オクターブバンドレベルはどの帯域においてもNC=40のカーブを越えてはならないことを表わす。NCの値は騒音計で測定したA特性の読みにはば+10dBを加えた値になる。つまり騒音計のA特性はNC曲線のカーブに非常によく近似している。SIL, NCおよびNCAが主として会話伝達に対する騒音の評価を目的にしているのに対して、N数(NR数, NRN数ともいう—Noise Rating Number)は聴力保護のための評価も併せ考慮されている。従ってNRは聴力保護、会話伝達、やかましさを三つを評価できる。

人間の聴覚機構は露聴により損傷されるが、聴力保護を目的とした職業性露聴評価で騒音計の測定値が80 dB(A)以下なら長時間継続しても難聴の心配はないと云われている³⁾。ところで職場騒音は物理的にみてきわめて多様性に富んでおり、その物理的諸要因と耳への影響は最近かなり明らかになってきた。騒音の物理的諸性質(音圧レベル・周波数構成・時間的変動)、並びに暴露様式(連続的暴露・間欠的暴露)と騒音性難聴との関係は騒音暴露による一時的^{4,5)}聴力損失(TTS: temporary threshold shift)の研究によってほぼ明らかにされたといつてよい。

本報告では土木作業の中で特に問題になるサク岩機作業の騒音とオペレータの生理的反応の変化に焦点をあてることにする。心拍数の測定および騒音測定の被験者として京都大学芦生演習林の技官の方々にお世話になった。本研究は昭和49年度文部省科学研究費(試験研究I)によったもので関係各位に厚く感謝します。

II. 測定方法

調査対象の現場は前報告と同じく京都大学芦生演習林ブナの木林道・標高750mの岩石地帯、一方が高さ3~4mの切り取り法面、他方が谷側となっている一般的な林道の工事現場である。作業現場附近の道下は切り取りの土道から5~10mの高さの広葉樹がまばらに林立している。このような現場では切り取り面からの音の反射と一部の吸収、谷側では音の透過と樹林による一部反射が起るものと考えられる。

騒音測定はノードの指示騒音計PS-112と日本電子工業の振動騒音分析器FS-300Gを用い、測定箇所はコンデンサー・マイクをサク岩作業者の耳部(サク岩機から約50cm)とした。騒音測定は作業者のいない状態でマイクをホルダーに付けスタンドに立てかけて行うのが理想的であるが、サク岩作業の場合作業者がサク岩機を操作しなければならないため現場作業者の耳部附近で

Tab 1 Dimension of a used rock borer
(produced by Toyo Kogyo Co.)

Type	Ty 16-LD
total weight	27.5kg
leg weight	10.0kg
machine weight	17.5kg
machine length	575mm
cylinder diameter	60mm
piston stroke	55mm
volume of pressure air	
consumption (5kg/cm ² hour)	2.1m ³ /min
air absorbing hose diameter	19mm
water absorbing hose diameter	12.7mm
using rod	22&19mm mid-air steel
shank size	22×108 & 22×83mm
	19×108 & 19×83
number of rotation	180・250r. p. m.

マイクを持って測定した。表1にサク岩機の諸元を示す。

III. 林道工事現場の騒音

芦生演習林の林道工事現場の騒音源はブルドーザ (D 30), ショベルドーザ (D 50 S), サク岩機とそのコンプレッサーである。これらの土工機械のオーバーオール騒音とその空間的減衰を求めるため、現場の空間的騒音レベルの変化をつぎに示す。

a) 騒音源と空間的騒音レベルの関係 (図3)

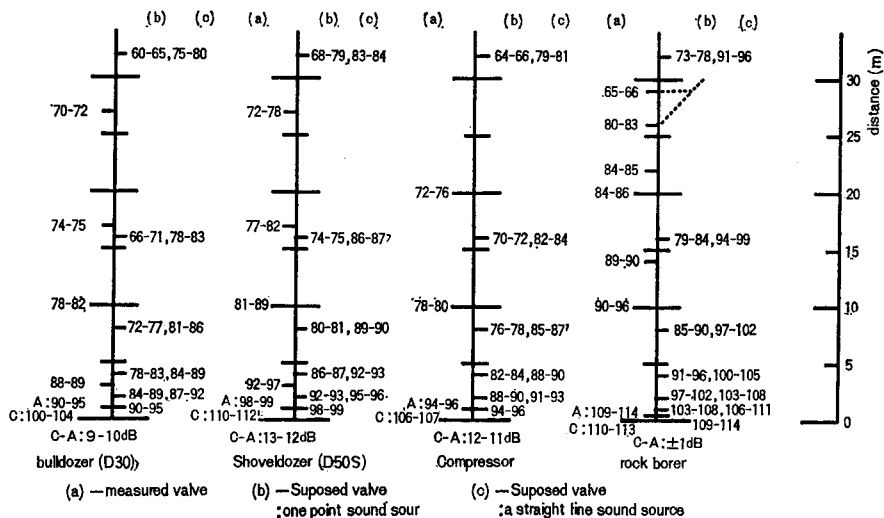


Fig. 3 Noise around the spots of forest road constructions

距離的音の増減関係を数値的に考えてみよう。一般に有限の大きさの発音体と見なされる場合は騒音が一点から出ているとして計算されることが多い。 $\Delta I = 10 \log_{10} P_2/P_1 = 10 \log_{10} (L_1/L_2)^2 = 20 \log_{10} L_1/L_2$ (dB)。(L₁は最初測定した時の、L₂は近接して測定した時の音源までの距離。

P_1, P_2 は L_1, L_2 に対応する音の強さ) この関係より距離が 0.5 倍になると測定値は 6 dB 増加することになる。

つぎに線音源と見なされる場合について考える。線音源の中心から垂線上の二点で測定した音量の大小は $\Delta I = 10 \log_{10} L_1/L_2$ 。これから音量の差は点音源の場合の 0.5 倍、すなわち距離が 0.5 倍になると測定値は 3 dB 増加する。

図 3 の (a) 列は測定値の、(b)・(c) 列は点及び線音源と仮定したときの騒音レベル dB (A) を、C は至近距離の C 特性の騒音レベル dB(C) の測定値を、C-A は C と A の特性間の測定値の差を表す。この図から現場の騒音は点音源と仮定して計算した騒音レベルより少し高い方にずれている。このことは切取り法面・路面による音の反射、騒音源が体積の大きい物体であることなどによるもので一点から発する騒音としてとらえることができないことを示している。図の右上方のサク岩機の騒音で点線で表示した部分は現場の土道(音源から 26m)より谷側にさらに降りた斜面(水平距離で 3 m, 傾斜約 40°)上で測定した場合(音源から 29m)を示し、その騒音レベルは顕著に減衰している。音源から直線的に騒音を受けない時はその音源から発する騒音からかなり解放されるものと考えられる。騒音計の測定値が 80 dB (A) 以下の長時間継続しても難聴の心配がないと言われる位置をみると、ブルドーザとコンプレッサーで約 10m, ショベルドーザで約 17m, サク岩機は 26m 余となり、サク岩機の騒音の影響範囲は他の土工機械に比べて一段と大きい。

A と C の特性間の騒音レベルの差はサク岩機ではその差がほとんどないが、ブルドーザなどのディーゼルエンジンの土工機械では C 特性の値が 10dB ほど高い。これについては騒音計の聴感補正特性の性質から C 特性は低周波領域から高周波領域までフラットであるのに対し、A 特性で

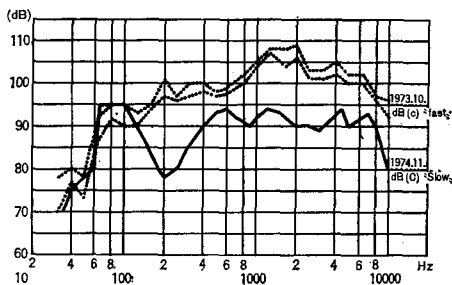


Fig. 4 Frequency components of Noise as to a rock borer

Tab. 2 Element works of an operation by a rock borer
(used rod : 22mm, hole : about 150cm deep)

element	time(sec/a hole)	%
setting a rock borer on	63.88	10.5
rock boring	386.75	63.5
pulling a borer out	70.25	11.5
putting twigs in a hole	5.75	0.9
thinking	8.25	1.4
dusting around boring place	14.25	2.3
regulating machines	51.38	8.4
others	8.50	1.4
total	609.01	99.9

は 1000 Hz 以上ではほぼフラットだが、1000 Hz 以下の周波数領域で大きく減衰する。このことを勘案するとサク岩機の騒音は 1000~8000 Hz の高周波領域に、一方ディーゼルエンジンの機械騒音は低周波領域に騒音分布がかたよっていることになる。サク岩機の騒音の周波数構成(図 4)からサク岩機の騒音は高周波領域の成分分布が主であることがわかる。この図で 1973 年のものは時定数が“fast”, 1974 年のものは“slow”である。1973 年のほうが圧倒的に高い騒音レベルになっている

が、これは騒音計の時定数の関係で継続的な衝撃性の騒音の持続時間が短かいために 1974 年の“slow”の場合には正確に計測しきれず、取り逃した騒音レベルがあるものと考えられる。

b) サク岩機の騒音と許容基準の関係

サク岩機の騒音を騒音評価指数 N で表わすと 1973 年のものは $N=110$, 1974 年のものは 95 となる。この指数は 85 が許容基準と

されている。⁶⁾ またサク岩作業の作業時間は芦生では1日の正味サク岩時間を2.5時間と見積もることができるので(表2参照),これを1日5時間以下の騒音暴露に対する短時間連続露出時間⁶⁾(図5参照)に照してみれば, $N=95$ で約50分, $N=110$ で約10分となる。

1穴の正味サク岩(穴の長さ150cm)に約8分を要しているのので,サク岩機の騒音評価数を110とすると短時間連続露出時間を越えることはない。さらにサク岩作業には防音保護具として耳おおいの使用が義務づけられており,これをJIS-T 8161防音保護具として規定されている耳おおいのしゃ音性能(表3参照)と照合すると $N=110$ の場合でも騒音評価指数は85以下の許容基準内におさまることになる。

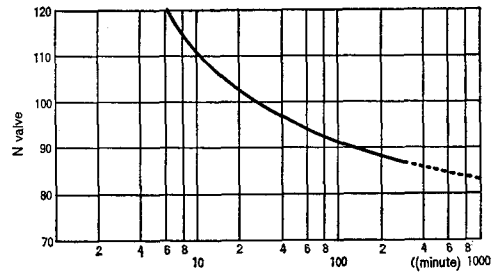


Fig. 5 Tolerance time as to noise-continuous-exposure during short time⁶⁾

Tab. 3 Ability of noise protectors²⁾

freq. (HZ)	screened noise level (dB)		
	EP-1(ear plug 1)*	EP-2(ear plug 2)**	EM(ear muff)
500	more than 10	under 10	more than 20
1000	" 15	—	" 25
2000	" 20	" 20	" 20
4000	" 25	" 25	" 30

* screen noise from low to high freq. range

** screen only high freq. range

a note: it is desirable that screened noise value in EP-2 at 1000 HZ is under 15 dB

IV. 騒音と心拍数の関係

サク岩作業についてイヤーマフ着用時と無着用時の作業者の生理的影響を比較するために心拍数と騒音の関係をみる。サク岩作業には騒音の変化だけを与えるためにイヤーマフ着用の有無の条件以外は通常の作業状態とし,当然防振手袋を着用している。つぎに自己相関と相互相関の概略にふれる。

a) 自己相関と相互相関^{7,8)}

不規則過程 $\{x(t)\}$ の時刻 $t=t_1$ および $t=t_2$ における値をそれぞれ $\{x(t_1)\}$ および $\{x(t_2)\}$ としたとき,自己相関関数は

$$\phi_{xx}(t_1, t_2) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^N x(t_1) x(t_2)}{N}$$

のように定義される。とくに定常不規則過程においては時間原点をずらしてもその平均値は変化しないから $\phi_{xx}(t_1, t_2) = \phi_{xx}(t_1+t, t_2+t)$ という関係が成立する。 $t=-t_1$ とすると $\phi_{xx}(t_1, t_2) = \phi_{xx}(0, \tau)$ 。ただし, $\tau=t_2-t_1$ である。これより定常不規則信号の自己相関関数は時間間隔 $t_2-t_1=\tau$ にのみ依存し,時刻 t_1, t_2 そのものには無関係であるのでこれを単に $\phi_{xx}(\tau)$ と表わす。

$$\phi_{xx}(\tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^N x_{(0)} x_{(\tau)}}{N}$$

さらにエルゴード的定常不規則過程ではその自己相関関数は集合に属する任意の代表関数に関する時間平均で定義してもよいから,

$$\phi_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T {}^h x(t) {}^h x(t+\tau) dt$$

と表わされる。しかもこれは h の選び方に関係しないから、ひとつの時間関数 $x(t)$ の自己相関関数は

$$\phi_{xx}(\tau) = \overline{x(t)x(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau) dt.$$

また周期 Δ のサンプルド・データから $\phi_{xx}(\tau)$ を求めるときは

$$\phi_{xx}(m\Delta) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x(n\Delta)x(n\Delta+m\Delta).$$

$x(t)$ から平均値 $\overline{x(t)}$ を差し引き、さらにそれを $\tau=0$ の相関関数の値 $\overline{x^2(t)} - \overline{x(t)}^2$ で割った形の自己相関関数を規準形といい $\rho(\tau)$ と書く。

$$\rho(\tau) = \frac{[\overline{x(t) - \overline{x(t)}}][\overline{x(t+\tau) - \overline{x(t)}}]}{\overline{x^2(t) - \overline{x(t)}^2}}.$$

二つの不規則過程 $\{{}^h x(t)\}$ および $\{{}^h y(t)\}$ において時刻 t_1, t_2 における値をそれぞれ $\{{}^h x(t_1)\}$, $\{{}^h y(t_2)\}$ とすると

$$\phi_{xy}(t_1, t_2) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{h=1}^N {}^h x(t_1) {}^h y(t_2)}{N}$$

によって定義される関数 $\phi_{xy}(t_1, t_2)$ を相互相関関数という。以下自己相関関数と同様に ${}^h y(t_2)$ を ${}^h x(t_2)$ と考えればよい。

b) 結果と考察

騒音は作業進行に従って15秒間隔にその時刻に近い平均的騒音レベルをデータとした。心拍数の場合も同様である。これは極微小時間に変動する影響よりも大きな時間単位での動きのほうが作業動作や生理的反応に関係するものと考えられるために、2・3秒単位の平均値をとった。また心電図により心拍数を求めているために、あまり小さな時間単位に即した生理的反応の現象を取り出すことができないこともあった。

騒音と心拍数の自己相関および相互相関をイヤーマフ着用の有無について図5・6に示した。相互相関では騒音現象が心拍数の現象より時間間隔 τ 先行する関係につき計算している。

イヤーマフ着用時の騒音の自己相関で $\rho(60) = +0.2558$ ($\tau=60$ 秒のときの相関)と正の相関がわずかに現われているが、心拍数の自己相関には顕著な相関はみられない。相互相関では $\rho(60) = -0.4058$ と負の相関がある。

またイヤーマフ無着用時の騒音の自己相関は $\rho(30) = +0.2916$ と少し相関がみられる。騒音源自体に関してみればイヤーマフの有無に対して時間的周期性はほとんどなかったものと考えてよい。このような騒音条件に対するイヤーマフ無着用時の心拍数の自己相関は $\rho(30) = +0.3995$, $\rho(75) = -0.2994$ でしかも時間間隔軸に対して大きな波動を描いた周期性が認められる。騒音と心拍数の相互相関では $\rho(0) = -0.6777$ と非常に大きい相関を示し、イヤーマフ無着用時には騒音は時間的ずれなく直接生理的影響を強く受けるものと思われる。この相互相関は心拍数の自己相関と比較して時間間隔軸に対して逆の相関をもった波動を描いている。

騒音という外部条件に対する心拍数という内部反応との間に時間的ずれをおいて相互の関係が

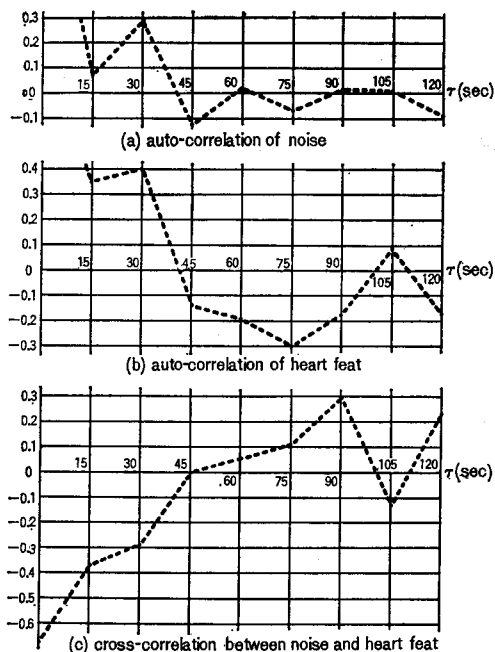


Fig. 6 Correlation of Noise and heart beat with an ear muff

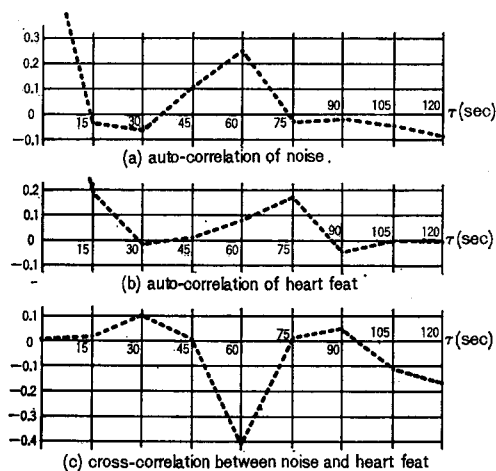


Fig. 7 Correlation of noise and heart beat no ear muff

Tab. 4 Certification of significance as to noise and heart beat with/without an ear muff

	ear muff	mean	standard deviation	F test of significance	rate of contribution
noise level (dB(A))	put on	109.6078	4.8590	95%	7.51%
	not	111.9047	0.8675		
heart beat (N/min)	put on	90.9019	4.2760	99%	21.46%
	not	98.0000	8.0178		

如何に変化していくかを調べようとしたが、上記の事例が何らかの条件的意味を持った傾向を示しているものかどうかという結論的なことは今後さらに調査を重ねてからにしたい。

上記のデータに対する騒音と心拍数のイヤーマフ着用の有無に対する有意差検定の結果(表4)から騒音源についてイヤーマフ無着用時に明らかに高い騒音レベルの状態にあった。また騒音レベルの変動に対してもイヤーマフ着用時には大きいバラツキを生じていた。従って騒音源自体の質が異なっていたことになる。

心拍数に現われた騒音の効果はイヤーマフ無着用のほうが明らかに心拍数が高く、心拍数の変動も非常に大きい。これは生理的影響ばかりではなく、心理的にも不安定な状態にあったものと考えられよう。このように騒音評価指数85の許容基準を満たす場合と超過する場合では心拍数の上で顕著な差が現われるものと考えられる。

振動・騒音・臭気などの感覚反応は時間的に慣れが生じ生理的・心理的作用の働きは複雑に関係するものと考えられる。サク岩機作業の場合には作業者は純粋に騒音だけを分離した環境におかれているわけではなく、同時に振動や作業動作・作業テンポ、その他注意力・気分などの精神面からも種々の影響を受けている。サク岩作業者が無意識に騒音源の騒音レベルを操作していたか

どうかをイヤーマフ着用の有無・防振手袋の有無・作業環境（山間部，民家近辺）の要因に対して調べた結果をここに示すと，イヤーマフ着用の有無に対しては95%の有意差でイヤーマフを着用しない時の騒音は低くなる。他の2要因に対しては全く有意差は認められなかった。

このように与えられた作業状況に対する作業者の心理的反応が関係し合っており，それらの意味するところをさらに詳細に研究していく必要がある。

引用文献

- 1) 沼田邦彦・山本 誠・田村朋厚・佐々木功：林業機械作業における人間工学的研究—機械土工における労働環境の調査，京大演報，46，144～152，(1974)
- 2) 三浦豊彦・他：新労働衛生ハンドブック，労働科学研究所，71～83，277～287，380～382，726～733，1767～1378，(1974)
- 3) 北村恒二：騒音管理の実際知識—参考資料，VI，ノード，29～61，(1972)
- 4) 山本剛夫：職場の騒音，労働の科学，30—1，15～19，(1975)
- 5) 科学技術庁（資源調査所）監修，人間—環境系編集委員会編：人間環境系，人間機能データブック，人間と技術社，635～722，(1973)
- 6) 辻 隆道：林業の安全と人間工学，宏林タイムス社，156～163，(1969)
- 7) 樫木義一・添田 喬・中溝高好：統計的自動制御理論，コロナ社，35～44，(1966)
- 8) 井町 勇：機械振動論，朝倉書店，294～311，(1964)
- 9) 沼田邦彦・佐々木功：(未発表)

Résumé

¹⁾
In a former report we have pointed out a few problems concerning the labor environment of forest road construction. In the 1973 investigation we considered the problem of people working nearby the noise of a rock borer. We examined the effect of the noise of the rock borer in particular on those.

This noise can be specified by two types -- one is the impact noise of a rock borer mainly distributed at a range of high frequency over 1,000 Hz and the other is of the bulldozer which is moved by a diesel engine and distributed at a range of lower frequency (less than 1,000 Hz). Concerning the noise of a rock borer (which has a noise level lower than 80 dB (A)), a distance of more than 26 meters from the working site is required. Furthermore, the noise of a rock borer has a more serious effect on the operator's auditory organ than the noise of diesel engine road construction machines.

The noise of a rock borer at an operation site reaches a level of $N=110$ on the rating scale if no auditory protection is used. However, if an ear protector covering is used, the noise level decreases to $N=85$. When no auditory protection is used the operator's heart beat frequency (per minutes) is much higher (See Differentiations of Means, Standard Deviations at Tab. 4); the difference of between these two cases is significant at the 99% level. The influence of using an ear protector on the operator's heart beat frequency is definitely more significant than the influence of the noise level alone, although whether or not an ear protector is used the effect upon the worker as to noise level alone is still significantly about 95%.

Thus it can be seen that the operator is in danger biophysically and mentally. As much as possible the conditions of this experiment remained constant concerning the effects of vibration, there is still a possibility that the measured numbers in this research may include the influences from vibration as well as the problem of noise level.

On the case where no ear protector is used, one is able to recognize periodicities concerning the auto-correlation of the heart beat and concerning the cross-correlation between

noise and heart beat, we can see a remarkable negative cross-correlation, especially when the time interval is at zero.

It is generally maintained that an operator's reactions to noise as well as to smell may follow the law of fatigue effect, and thus the sense perceptions may soon become dulled. However, the interrelations of those auto-/cross-correlations to the law of fatigue effects are still not definitely known. Therefore, in the future further study is needed in order to better understand the significance between biophysical phenomena such as heart beat, and the external conditions such as noise and vibration acceleration.